

A VÁROSI FÁS VEGETÁCIÓ HUMÁN BIOKLIMATOLÓGIAI JELENTŐSÉGE – GYAKORI SZEGEDI FAFAJOK ÁRNYÉKHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Takács Ágnes

*SZTE, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, PhD hallgató,
takacsagi@geo.u-szeged.hu*

Kántor Noémi, Gulyás Ágnes, Kiss Márton

SZTE, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

Absztrakt

Az utóbbi években egyre több nemzetközi tanulmány látott napvilágot a városi fás vegetáció mikroklíma-módosító hatásával, illetve az általuk nyújtott egyéb ökoszisztéma-szolgáltatásokkal kapcsolatban. A mikroklimatikus hatások feltárása céljából végzett terepi mérések, valamint modellfuttatások is kimutatták, hogy a fák elsősorban árnyékhatásuk – vagyis a rövidhullámú sugárzás (napsugárzás) mérséklése – révén képesek enyhíteni az emberi szervezetet érő hőstressz mértékét. A napsugárzás redukciójának hatékonyságát a lombzat transzmisszivitásával (napsugárzásáteresztő-képesség) írhatjuk le, melynek értéke nem csupán fajonként változik, de a lombkorona évszakos változásának és egészségi állapotának is a függvénye. Ebben a tanulmányban négy, magyarországi viszonyok között gyakran alkalmazott városi fafaj – kislevelű hárs (*Tilia cordata*), japánakác (*Sophora japonica*), nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*) és fehér vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum*) – sugárzásredukáló képességét, s ezzel összefüggésben bioklíma-javító potenciálját vizsgáltuk. Az említett négy faj egészséges, városi környezetben lévő, de viszonylag magányosan álló egyedei alatt szisztematikus mérésorozatot terveztünk Szegeden. Az egyes fajok napsugárzás áteresztő képességének meghatározásához a fák lombkoronája alatt mértük az áteresztett (transzmittált) napsugárzás mennyiségét, melyet azután az égboltkorlátozástól mentes helyszínen (tetőn) mért globálsugárzás-értékekhez viszonyítottunk. A 2014-es év során nyert eredményekből kitűnik az ostorfa és a kislevelű hárs intenzívebb árnyékolóhatása. Ezzel szemben a japánakác lazább lombkoronáját nagyobb áteresztőképesség jellemzi a vegetációs periódus során. A vadgesztenye alacsonyabb őszi transzmisszivitás-értékei a többi fajhoz viszonyított korábbi lombhullásának tulajdoníthatóak. A 2014-es mérési tapasztalatok alapján 2015-re új, az eredmények szélesebb körű elemzését lehetővé tevő mérési koncepciót dolgoztunk ki.

Kulcsszavak: *hőstresszredukció, mikrobioklíma, transzmisszivitás, városi fafajok*

1. Bevezetés

1.1 Motiváció, a vizsgálat indokoltsága

A városi életforma – XX–XXI. századra különösképpen jellemző – térhódítása nagymértékben rányomja bélyegét az emberi komfortérzetre, fizikai és mentális

egészségi állapotra. Napjainkban a Föld lakosságának több mint fele él városi térségekben, s ez a szám egyre csak emelkedik [UNFPA, 2011]. A 2000-es évek első évtizedében az amerikai és az európai népességnek már több mint a 3/4-e, Magyarország lakosságának pedig 2/3-a volt városlakó [WHO, 2004; VAHAVA, 2010]. A fokozódó mértékű urbanizáció következtében egyre több embert érintenek a városi környezet káros hatásai, mint például a levegőszennyezés, a zajterhelés vagy a termikus stressz [Unger and Sümeghy, 2002]. A fennálló városklimatológiai problémákat tovább súlyosbítja a szárazföldi területek hőmérsékletének emelkedése és a szélsőséges időjárási események egyre gyakoribb előfordulása [IPCC, 2007, 2014]. A nyári hónapok sokszor extrém forró időjárási helyzetei (különösképpen a tartós hőhullámok) fokozottan igénybe veszik még egy egészséges ember szervezetét is, Magyarország idősödő populációját figyelembe véve azonban még súlyosabb problémát jelentenek [WHO, 2004].

A városi közterületek komfortviszonyai nagymértékben javíthatóak, illetőleg a nyári hőstressz jelentős mértékben csökkenthető a fás vegetáció megfelelő alkalmazása révén. A városi területek fásítása ráadásul nem csupán a mikroklimatikus viszonyok kedvező irányú módosítása (árnyékhatás és evapotranspiráció általi hűtés) miatt hasznos, hanem számos más aspektusból is hozzájárul a kellemes és egészséges városi környezethez [Johnston and Percival, 2012]. A fák redukálják a városi életter olyan káros hatásait is, mint a légszennyezés és a zajszennyezés, mérséklik a heves esőzések révén kialakuló áradások kockázatát, szén-dioxidot kötnek meg, illetve oxigént bocsátanak a légterbe. Az előbb felsorolt, fizikai szinten is megfogható ökoszisztéma-szolgáltatások mellett a városi vegetáció közvetett módon is hozzájárul a városlakók jólétéhez. Például kellemes megjelenésük a természetes környezetet idézi, a különböző városi zöldterületek szabadterei aktivitásra inspirálnak, s teret nyújtanak a városlakók közötti szociális kapcsolatok kiépítésére és ápolására [Chiesura, 2004; Golicnik and Thompson, 2010]. Mindezek figyelembevételével óriási jelentősége van a városi fás vegetációval kapcsolatos vizsgálatoknak.

1.2 Szakirodalmi áttekintés

A **városklíma** egy olyan lokális éghajlat, amely a beépített városi területek és a regionális szintű klíma kölcsönhatása révén alakul ki [Oke, 1987; Unger and Sümeghy, 2002]. A külterületekhez viszonyítva szennyezettebb, melegebb és gyakran szárazabb légkör jellemzi, amely a természetes felszínnekhez képest nagymértékben megváltozott, zömében mesterséges anyagokból álló és jóval összetettebb geometriával bíró városi felszín, valamint a hő- és szennyezőanyag-termelő antropogén folyamatok hatására alakul ki. Míg a korai városklimatológiai kutatások pusztán az egyes alap-klímaparaméterek (elsősorban a léghőmérséklet) városi módosulásaira koncentráltak, addig az újabb **város-bioklimatológiai** vizsgálatok arra helyezik a hangsúlyt, hogy a megváltozott klímaparaméterek

együttesen milyen hatást gyakorolnak az emberi egészségre és komfortérzetre [Mayer, 1993]. Az ilyen újabb kutatások egyik fő irányvonala a **termikus viszonyokra** koncentrálni, vagyis az emberi szervezet hőháztartását érintő paraméterek komplex hatását számszerűsíti, egészségügyi és komfort szempontból minősíti a különböző városi környezetekben kialakult termikus viszonyokat, s e kondíciók kedvező irányba történő módosítására törekszik.

Az emberi szervezetet érő hőstressz mértékét a légköri paraméterek közül nem csupán a léghőmérséklet határozza meg, ezen kívül fontos szerepet játszik a levegő nedvességtartalma, a légáramlás, valamint az ún. átlagos **radiációs hőmérséklet** is [Mayer, 2008]. Utóbbi az emberi szervezetet érő rövid- és hosszúhullámú sugárzási komponensek hőhatását fejezi ki °C mértékegységben. Definíció szerint ez annak a képzeletbeli, feketetestként sugárzó (emisszivitása $\varepsilon=1$) buroknak az egységes hőmérséklete, amely ugyanolyan sugárzási energiabevételt eredményezne a benne lévő emberi testre vonatkozólag, mint annak valóságos környezete [VDI, 1998; Kántor and Unger, 2011].

A léghőmérséklet (T_a [°C]), a légnedvesség (vízgőznyomás – VP [hPa] vagy relatív nedvesség – RH [%]), a szélesség (v [m/s]) és az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt} [°C]) együttes, emberi szervezetre gyakorolt termofiziológiai hatása kifejezhető egy – általában szintén hőmérséklet-dimenzióban (°C) definiált – humán bioklimatológiai mutatóban. A modern bioklímaindexek közül világszerte az ún. **fiziológiailag ekvivalens hőmérsékletet** (PET [°C]) használják leggyakrabban a város-bioklimatológiai (termikus komfort, illetve stressz) vizsgálatok mérőszámául [Höppe, 1999]. A PET index definíciójának megértéséhez képzeljünk el egy 35 éves, 1,8 m magasságú, 75 kg-os férfit, aki mérsékelt aktivitást végez (1,48 met) és vékony öltönyt vagy könnyű utcai ruházatot visel (0,9 clo). Majd képzeljünk el egy tipikus beltéri helyiséget, melynek termikus viszonyait a következő standardizált paraméterekkel jellemezhetjük: $T_{mrt}=T_a$, vagyis nem éri különösebb hőszugárzás az alany testét; $v=0,1$ m/s, vagyis alig van légmozgás; és VP=12 hPa, ami tipikus beltéri légnedvességértéknek felel meg (és például 20 °C-os léghőmérsékleten 50%-os relatív páratartalmat jelent). Ennek a beltéri helyiségnek csupán a léghőmérséklete (T_a) nincs meghatározva. A valóságos kültéri környezet aktuális termikus viszonyait egy mutatóban összegző PET érték – például egy városi téren mérhető T_a , T_{mrt} , VP és v értékeinek összességéként előálló PET – az előbb bemutatott standardizált beltéri helyiség léghőmérsékletének feleltethető meg. Ez a PET hőmérsékletű ($T_a=PET$) beltéri helyiség ugyanakkora termikus terhelést róna a fent bemutatott alany szervezeteire (illetve ott ugyanolyan hőérzete alakulna ki), mint a valóságos esetben az aktuális T_a , T_{mrt} , VP és v értékek együttes hatására [Kántor et al., 2014].

Számos külföldi és hazai szabadtéri vizsgálat kimutatta már, hogy a PET – valamint a hozzá hasonló komplex humán bioklimatológiai indexek – értéke, s ennél fogva az emberi testre rótt termikus terhelés nagysága nyári időszakban elsősorban a T_{mrt} függvénye [Oke, 1989; Mayer et al., 2008; Shashua-Bar et al., 2011;

Takács, 2013; Égerházi et al., 2013, 2014]. A Tmrt aktuális értékét és változását egy adott helyszínen a sugárzási viszonyok határozzák meg: elsősorban az, hogy az adott pontot éri-e direkt napsugárzás (ami az árnyékolás függvénye), másodszorban pedig az, hogy az ott található felszínnek milyen mértékben verik vissza a napsugárzást, illetve milyen mértékben nyelik el és sugározzák vissza hosszúhullámú sugárzás formájában (ami a felszínborítás, illetve a környező tereptárgyak anyagi minőségének függvénye) [Erell et al., 2011]. Az emberi szervezetet érő nyári hőterhelés mérséklése tehát legkézenfekvőbb módon az árnyékolás révén oldható meg, vagyis e szempontból (is) érdemes kiemelt figyelmet szentelni a városi fás vegetációnak. Az évszakosan változó időjárási háttérrel rendelkező, meleg / forró nyarú területeken olyan fafajok telepítése javasolt, melyeknek a lombfakadása tavaszra tehető, emellett teljes kifejlődésükkor kiterjedt lombkoronával rendelkeznek, s lombzatuk napsugárzásra vonatkozó *transzmisszivitása* (áteresztőképessége) viszonylag kicsi [Erell et al., 2011].

1.3 Kutatási célkitűzések

A városi fás vegetációnak a közép-európai klimatikus körülmények között kifejtett hatására vonatkozóan még nagyon kevés az ismeretünk. Éppen ezért kutatásaink egyik célja, hogy részletesen megvizsgáljuk néhány, hazánkban gyakran alkalmazott városi fafaj – fehér vadgesztenye, nyugati ostorfa, kislevelű hárs és japánakác – árnyékolással összefüggő sugárzásmódosító hatását és bioklíma-módosító kapacitását. Részcélként a következőket fogalmaztuk meg:

- a különböző városi fafajokhoz tartozó transzmisszivitás értékek meghatározása;
- azok éves tendenciáinak kimutatása a lombkorona állapotváltozásától függően;
- annak vizsgálata, hogy az árnyékhataás ezen változásai milyen mértékben módosítják az emberi szervezetet érő bioklimatikus terhelés mértékét a különböző évszakokban;
- valamint, hogy mindezekre milyen hatással van a fák általános egészségi állapota.

2. Az alkalmazott módszerek

Az árnyékhataás vizsgálatát két, egymásra épülő lépcsőben terveztük, melyek módszertanilag jól elkülöníthetőek műszeres terepi mérésekre, s mikroléptékű modellszimulációkra. Utóbbiakhoz a terepi mérések alapján meghatározott transzmisszivitás értékeket használjuk majd fel. Jelen tanulmány a műszeres terepi mérések első évének (2014) tapasztalatainak és eredményeinek tárgyalásán alapul, s az *1.3 alfejezetben* felsorolt részcélok közül az első kettőre koncentrálok.

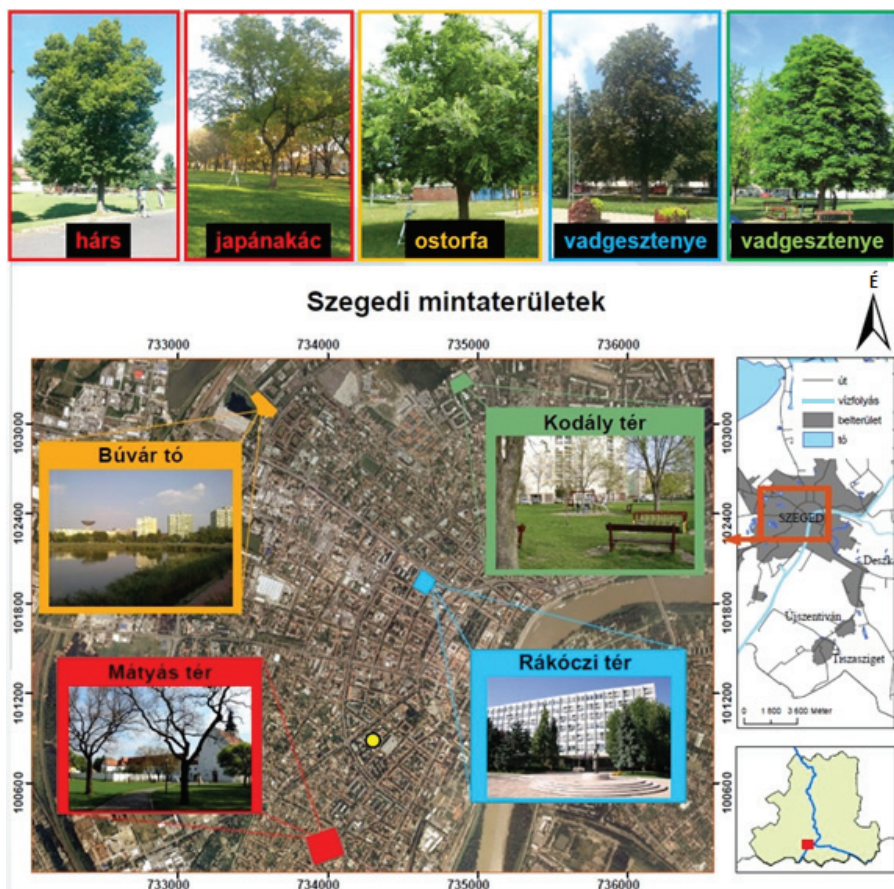
2.1 Szegedi mintaterületek, illetve a kiválasztott fafajok

A mikroklimatológiai méréssorozathoz, illetőleg a fajspecifikus transzmisszivitás értékek meghatározásához négy, jellegzetes városi fafajt választottunk ki, melyek nem csupán Szegeden, de Magyarország többi városában is gyakran előfordulnak utcai sorfaként vagy parkfaként (**1. táblázat**).

1. táblázat: *A szegedi transzmisszivitás vizsgálatba bevont faegyedek jellemzői*

	Kislevelű hárs	Japánakác	Nyugati ostorfa	Fehér vad- gesztenye (beteg)	Fehér vad- gesztenye
Terület	Mátyás tér	Mátyás tér	Búvár tó	Rákóczi tér	Kodály tér
Koordináták	46°14'29,8"É 20°08'14,5"K	46°14'25,1"É 20°08'08,2"K	46°16'02,0"É 20°07'52,6"K	46°15'26,1"É 20°08'42,3"K	46°16'07,3"É 20°08'55,6"K
Légvonalbeli távolság [m]	740 m	945 m	2260 m	1140 m	2450 m
Teljes magas- ság [m]	15,5	12	9	15	13,5
Törzsmagas- ság [m]	2,5	3	1.8	2	2,5
Lombkorona átmérő [m]	9	12	14	10	9
Törzsátmérő [cm]	70,5	75	70	78	57

A vizsgált faegyedek, illetőleg a mintaterületek kijelölésekor nem csupán azt tartottuk szem előtt, hogy a kiválasztott fa egészséges és kifejlett példány legyen, de arra is kiemelt figyelmet fordítottunk, hogy a mérési periódus során (tipikusan 10:00 – 16:00 között) más objektumok (vagyis más fák vagy épületek) hatása ne befolyásolja számottevő mértékben a mérési eredményeket. Az ideális mérési helyszín kiválasztása érdekében a konkrét méréssorozatot több szegedi terepbejárás előzte meg. Megfelelő állapotú és elhelyezkedésű *kislevelű hársfát* (*Tilia cordata*) és *japánakácot* (*Sophora japonica*) a Mátyás téren találtunk. A kiválasztott *nyugati ostorfa* (*Celtis occidentalis*) a Búvár tó mellett áll, a *fehér vadgesztenyét* (*Aesculus hippocastanum*) pedig a Rákóczi téren jelöltük ki. Erről az utóbbi fáról azonban már az első nyári méréssorozat közepén láthatóvá vált, hogy a lombzatát megtámadta a vadgesztenye-aknázómoly (*Cameraria ohridella*) – ami a lomb idő előtti elvesztését okozza –, így a vizsgálatok folytatásához új, egészséges egyedet jelöltünk ki a Kodály téren (**1. ábra**).



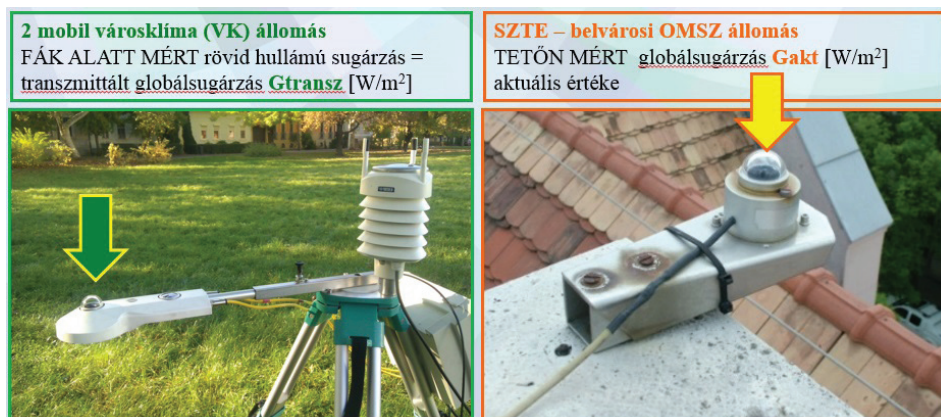
1. ábra: A szegedi transzmisszivitás vizsgálatba bevont faegyedek és elhelyezkedésük (az egyetemi OMSZ állomás elhelyezkedését sárga kör jelöli)

2.2 Transzmisszivitás vizsgálat

A vizsgálatba bevont fák transzmisszivitás értékeinek meghatározásához szükség volt a globálsugárzás (a felső hemiszféra irányából érkező rövidhullámú sugárzás: direkt és szórt napsugárzás összessége) értékeinek mérésére egyrészt a fák lombkoronája alatt (transzmittált, vagyis áteresztett globálsugárzás – G_{transz} [W/m^2]), másrészt pedig egy égboltkorlátozástól mentes, lehetőleg közeli ponton (globálsugárzás aktuális értéke – G_{akt} [W/m^2]). A fajspecifikus transzmisszivitás értékek a két paraméter hányadosaként állnak elő: $transzmisszivitás = G_{transz} / G_{akt}$.

A fák alatti méréseket két speciális, bioklimatológiai vizsgálatokra is alkalmas **mobil városklíma**-állomással hajtottuk végre, egy napon párhuzamosan két kiválasztott fafaj lombkoronája alatt. Az állomásokat a fatörzstől északi irány-

ba 2 m távolságra helyeztük, ügyelve a lombzaton áteresztett sugárzást mérni hivatott piranométer vízszintezésére és déli tájolására (**2. ábra**). Mind a két mobil állomás lehetővé teszi a rövid- és hosszuhullámú sugárzási paraméterek, valamint a mikroklimatológiai paraméterek rögzítését is. A léghőmérséklet (T_a [°C]), a relatív nedvesség (RH [%]), a szélsébség (v [m/s]) és a légnyomás (p [hPa]) percenkénti átlagértékeinek rögzítéséről mind a két állomás esetén egy-egy Vaisala WXT 520-as műszeregyüttes gondoskodik. Ugyancsak megtalálható mindkét állomáson egy-egy Kipp & Zonen gyártmányú nettó radiométer, melyek a rövid- és hosszuhullámú sugárzási komponensek szeparált mérését teszik lehetővé. A mobil állomások csupán ezeknek a műszereknek a típusában térnek el: az egyik állomás a korábbi gyártmányú CNR 1, míg a két évvel fiatalabb állomás már CNR 2 műszerrel van felszerelve (a **2. ábrán** az utóbbi látható). A nettó radiométer alapbeállítása esetén egy piranométer és egy pirgeométer a felső hemiszférából, míg egy másik piranométer és pirgeométer az alsó hemiszférából érkező rövid-, illetve hosszuhullámú sugárzást detektálja.



2. ábra: A fák alatti sugárzás- és mikrobioklíma mérésekhez felhasznált mobil állomás (kiemelve a műszer piranométerét), valamint a Szeged belvárosában elhelyezkedő egyetemi OMSZ állomás piranométere

A fák lombkoronájára jellemző transzmisszivitás értékek meghatározásához a Kipp & Zonen nettó radiométerek felső piranométerei által mért áteresztett napsugárzás adatokat használtuk. A globálsugárzás aktuális értékét a Szegedi Tudományegyetem (SZTE) Ady téri épületének tetején működő telepített **Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) állomásának** piranométere (Kipp & Zonen CM 11) rögzítette, a talajszint felett kb. 18 m magasságban (**1. és 2. ábra**). Mivel a belvárosi telepített OMSZ állomás adatsorának felbontása 10 perces, a fák alatt mért 1 perces adatokból is 10 perces átlagértékeket képeztünk a transzmisszivitás értékek kiszámítása előtt.

A másfél évesre tervezett méréssorozatot 2014 júniusának végén kezdtük el.

Az eredeti koncepció szerint a méréseket igyekeztünk derült időjárási helyzetű napok nappali óráira időzíteni és minden faj alatt legalább havi egy alkalommal mérni egy éven keresztül, hogy a lombkorona évszakos változásának hatásait nyomon tudjuk követni. A 2014 során kivitelezett mérési napokat a **2. táblázat** listázza. A nyári időszak alatt sajnálatos módon többször előfordult, hogy a tiszta égboltviszonyok nem tartottak ki a mérési órák teljes hossza alatt.

2. táblázat: *A 2014 során kivitelezett mérési napok és a mérés időtartama*

Dátum	hárs	japánakác	ostorfa	vadgesztenye	égboltviszonyok
2014.06.27.		10:10 – 17:20			felhős
2014.07.01.	10:10 – 17:30				teljesen borult
2014.07.02.			9:50 – 18:10		felhős
2014.07.04.				10:10 – 17:40	derült
2014.07.24.			9:40 – 18:10	10:10 – 16:50	felhős
2014.07.25.	9:40 – 17:50	10:00 – 17:40			felhős
2014.08.28.	10:00 – 16:50	10:20 – 16:30			felhős
2014.09.09.			9:50 – 17:20	10:10 – 17:00	többször derült
2014.09.18.	10:00 – 16:30	10:20 – 16:10			többször derült
2014.09.29.	10:00 – 16:30	10:20 – 16:10			derült
2014.09.30.			9:40 – 16:40	10:00 – 16:20	derült
2014.10.28.			10:10 – 15:00	10:40 – 14:50	derült
2014.11.04.	10:00 – 14:50	10:20 – 14:30			derült

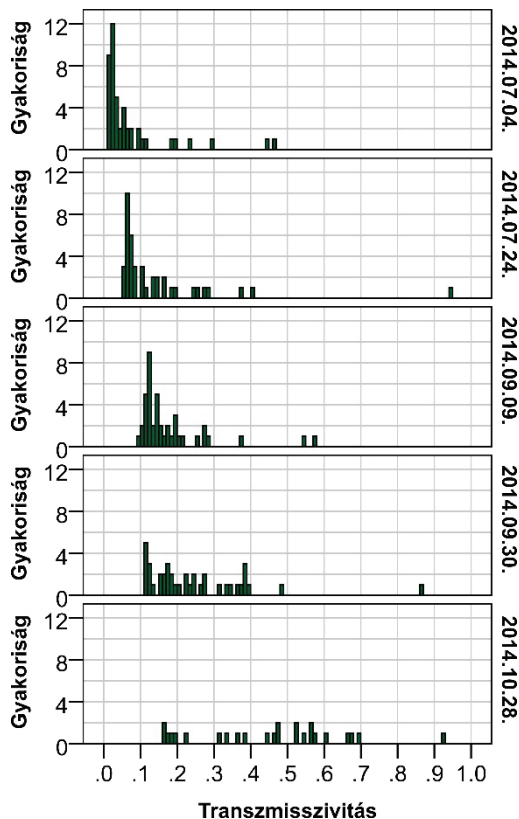
3. Kutatási eredmények

3.1 A lombkorona évszakos állapotváltozása

Mivel a vadgesztenye alatti mérési napok közül került ki a legtöbb olyan, amikor a mérés majdnem teljes hossza alatt derült égboltviszonyok uralkodtak (**2. táblázat**), így a lombzat változásával összefüggő napsugárzásáteresztő-képesség változását ennek a fajnak a példáján mutatjuk be. A vizsgált nyári és őszi napokra kapott transzmisszivitás értékek gyakorisági eloszlását részletesen **3. ábra** szemlélteti, s tömören a **3. táblázat** foglalja össze a napi eloszlások fontosabb statisztikai jellemzőit. A vadgesztenye lombjának hervadása, illetve lehullása tisztán leolvasható a kapott eredményekből: nyárból őszbe fordulva a transzmisszivitás értékek számottevően megnövekedtek, s ez igaz az eloszlásokat jellemző minimum, átlag, módusz és medián értékekre egyaránt. Míg a vadgesztenye lombkoronájának teljességgel ép állapotában (július 4-én) a számított transzmisszivitás értékek fele 0,03 alatt maradt, addig az utolsó mérési napon (október 28-án) a medián értéke mér 0,47-nek adódott.

3. táblázat: *A vadgesztenye esetén számított transzmisszivitás értékeket leíró alapstatisztikák a különböző mérési napokon*

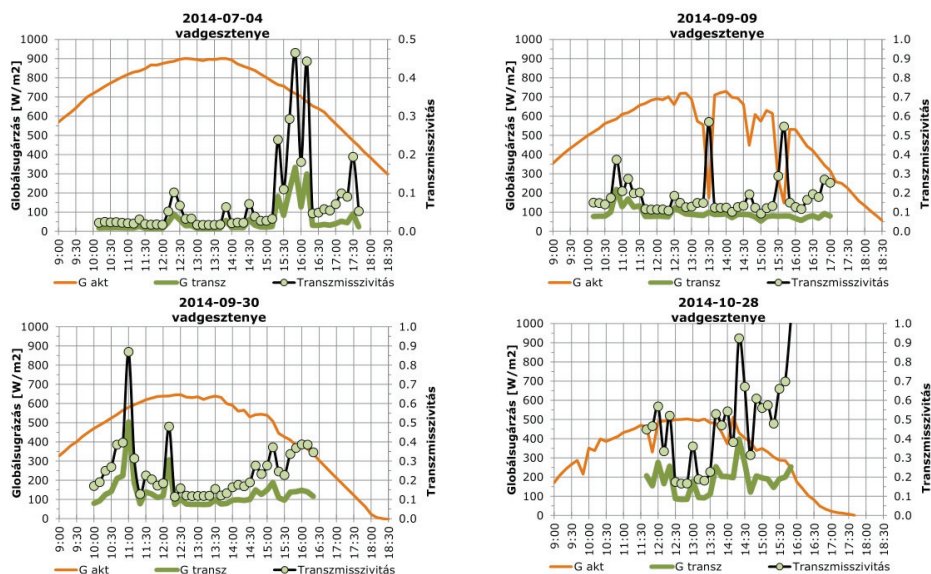
Dátum	N	Szórás	Átlag	Medián	Módusz	Min.	Max.
2014.07.04.	46	0,10	0,07	0,03	0,02	0,02	0,47
2014.07.24	41	0,15	0,15	0,08	0,06	0,05	0,94
2014.09.09.	42	0,10	0,18	0,15	0,13	0,09	0,57
2014.09.30	39	0,14	0,25	0,21	0,11	0,12	0,87
2014.10.28.	26	0,22	0,47	0,47	0,46	0,17	1,00



3. ábra: *A vadgesztenye lombozat évszakos állapotváltozásának hatása a transzmisszivitás értékek gyakorisági eloszlására*

Néhány fontosabb megállapítás alátámasztásához szükségét éreztük, hogy a transzmisszivitás, illetve az áteresztett és az aktuális globálsugárzás napi változásait grafikusán is ábrázoljuk (**4. ábra**). A globálsugárzás görbék harangalakja tanúskodik arról, hogy a kiválasztott napokon szinte mindvégig derült időjárási körülmények uralkodtak. Annak ellenére, hogy nyárból az ősz vége felé haladva a napmagasság csökkenésével párhuzamosan a globálsugárzás aktuális értékei is csökkentek (*Gakt* maximális értékei az első nap 900 W/m²-es értékéről az

utolsó napon közel 500 W/m^2 -re csökkentek), a fa alatt mért áteresztett sugárzás egyre magasabb értékeket vett fel. Az áteresztett sugárzás mennyisége az első napon mindvégig az aktuális globálisugárzás 50%-a alatt maradt, ezzel szemben az utolsó mérési napon az esetek több mint felében meghaladta az 50%-ot. A fent említetteknek megfelelően ennek az a triviális magyarázata, hogy a fa lombkoronája nyáron még teljesen ép volt, így jelentős mértékű árnyékolásra volt képes. A *Gtransz* értékeinek utolsó mérési napon látható, délidő környéki jelentősebb visszaesése a törzs, illetve a fő vázágak árnyékhatasának következményei (4. ábra).



4. ábra: A vadgesztenye sugárzásáteresztő képességének évszakos változása (*Gakt* – a globálisugárzás aktuális értéke, *Gtransz* – a fa alatt mért napsugárzás)

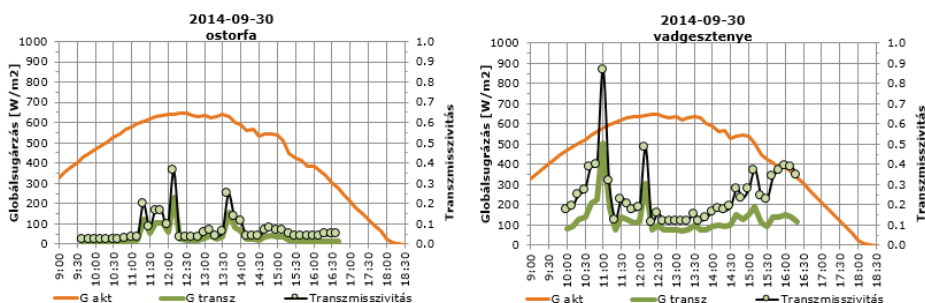
Fontos, az eredeti mérési koncepció gyenge pontjára rámutató jellegzetességre lehetünk figyelmesek a szeptember 9-i mérési nap példáján (4. ábra). Helyi nyári időszámítás szerinti 13:30 és 15:40 órakor a transzmisszivitás értékek hirtelen megugrása tapasztalható, mely azonban nem magyarázható az áteresztett sugárzás értékeinek emelkedésével, azok ugyanis közel ugyanolyan értéken maradtak az egész nap folyamán (különösen 11:30 után). A transzmisszivitás, vagyis a lombzat áteresztőképességének megemelkedése csupán látszólagos ezekben az esetekben, s valójában a globálisugárzás hirtelen visszaesésének számlájára írható (*Gtransz/Gakt* hányados nevezőjének csökkenése eredményezi, s nem a számláló emelkedése). Amennyiben ez a „háttéradat” (*Gakt*) a vizsgált fák közvetlen környezetéből (vadgesztenye esetén ugyancsak a Kodály térről) származna, s nem a 2450 m távolságban elhelyezkedő belvárosi OMSZ állomásról, úgy a fa alatti áteresztett sugárzás (*Gtransz*) adatnak is vissza kellett volna esnie az említett időpontokban. Ehelyett valószínűleg az történt,

hogy az egyetem tetejei piranométert egy-egy rövid időszakra beárnyékolta egy nagyobb felhő, melynek hatása azonban a két pont közötti távolság révén nem érvényesült a fás mérőhelyen.

3.2 Fajok közötti eltérések

Mivel az előző bekezdésekben vázolt probléma (látszólagos transzmisszivitás növekedés) több, változékony égboltviszonyokkal bíró mérési napon is felmerült, a fajközi összehasonlítást olyan mérési napok példáján végezzük el, amikor a folyamatosan derült égboltnak köszönhetően ennek hatása egyértelműen kizárható. Megfelelő időjárási háttérükből és közelségükből kifolyólag a szeptember végi mérési napokat választottuk ki.

Az **5. ábrán** látható, hogy a szeptember 30-án párhuzamosan vizsgált ostorfa és vadgesztenye közül egyértelműen a vadgesztenye lombozata jellemzőbb nagyobb s változékonyabb áteresztőképességgel. Míg az ostorfa transzmisszivitás értékei szinte soha nem emelkedtek 5% fölé és a kiugró értékek is csak 20–30%-osak, a vadgesztenye alapértékei mind 10% (sőt gyakran 20%) felettiek, valamint sokkal gyakoribbak és nagyobb értékűek a kiugrások. Megállapítható tehát, hogy az összevetés bázisát képező szeptember végi napon a vadgesztenye lombkoronája már sokkal gyéresebb, hézagosabb volt, így nagyobb mennyiségű napsugárzás átjutását tette lehetővé.



5. ábra: Az ostorfa és a vadgesztenye sugárzásáteresztő képességének különbsége egy napsütéses őszi napon (*Gakt* – a globálisugárzás aktuális értéke, *Gtranz* – a fa alatt mért napsugárzás)

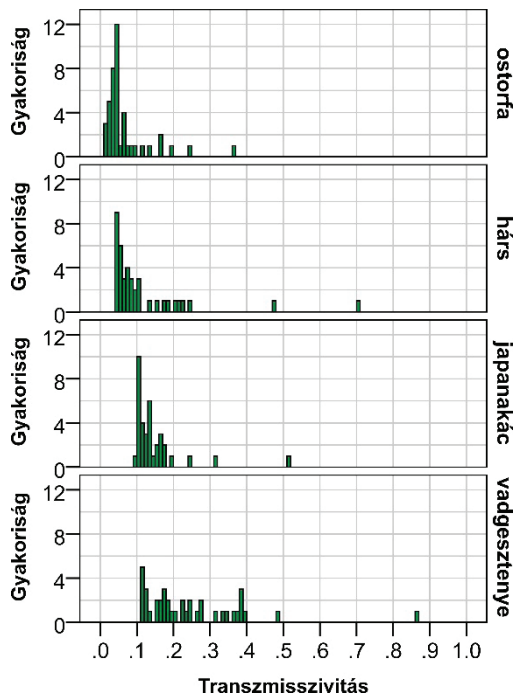
A négy fafaj transzmisszivitás értékeinek gyakorisági eloszlásaira (**6. ábra**) tekintve egyértelműen felállítható az árnyékoláshatékonysági sorrend. A leghatékonyabb árnyékhatással az ostorfa rendelkezik, 0,04-es medián- és 0,07-es átlagértékekkel (**4. táblázat**). Az ostorfát a hársfa követi (medián: 0,08, átlag: 0,12), majd a japánakác (0,13 és 0,15), s végül a vadgesztenye (0,21 és 0,25). A szeptember végi állapotban utóbbi faj nem csupán nagyobb transzmisszivitás értékekkel bír, de azok eloszlása is tágabb tartományt ölel fel, és sokkal egyenletesebb. Ezzel

szemben az ostorfa, a hárs és a japánakác lombozatára jellemző áteresztőképesség értékek sokkal inkább összpontosulnak egy-egy karakterisztikus érték körül (6. ábra). A módusz a nyugati ostorfa és a kislevelű hárs esetében is 0,04, míg a japánakác leggyakoribb transzmisszivitás értéke 0,10-nek adódott (4. táblázat).

4. táblázat: *A négy vizsgált fafaj szeptember végi (2014.09.29. és 2014.09.30.) transzmisszivitás értékeiket leíró alapstatisztikák*

Fafajok	N	Szórás	Átlag	Medián	Módusz	Min.	Max.
ostorfa	43	0,07	0,07	0,04	0,04	0,02	0,36
hárs	40	0,13	0,12	0,08	0,04	0,04	0,70
japánakác	36	0,08	0,15	0,13	0,10	0,09	0,52
vadgesztenye	39	0,14	0,25	0,21	0,11	0,12	0,87

Terepi tapasztalatainkkal összecseng a vadgesztenye szeptember végi utolsó helye az árnyékolási rangsorban: ez az a faj ugyanis, amelyik a legkorábban kezdi lehullajtani a leveleit a négy vizsgált fafaj közül, így a magasabb transzmisszivitás a vadgesztenye esetén a fán lévő kevesebb levéllel magyarázható. A vadgesztenyét a hárs és az ostorfa követi az őszi lombvesztés időzítését tekintve (nagyjából egy időszakban), majd a japánakác zárja a lombhullási sort. Ehhez képest a japánakác nagyobb áteresztőképességgel rendelkezett a szeptember végi napokon, mint a hárs és az ostorfa, ami tehát nem a fán lévő levélmenyiséggel, hanem a levelek összfelületével, illetve a levélsűrűséggel (LAI – leaf area index, LAD – leaf area density) van összefüggésben. Az ostorfa és a hársfa egyrészt nagyobb méretű levelekkel, másrészt jóval sűrűbb levélzettel rendelkezik, mint a japánakác.



6. ábra: A négy vizsgált fafaj szeptember végi (2014.09.29. és 2014.09.30.) állapotát jellemző transzmisszivitás értékek gyakorisági eloszlása

Fontos megjegyezni azonban, hogy a lombfakadási sorrend is hasonlóképpen alakul tavasszal: a vadgesztenye nyitja s a japánakác zárja a sort. Ezért egy későbbi, minden évszakot magában foglaló elemzés jóval realisabb képet fog majd nyújtani a vizsgált fajok árnyékoló képességének hatékonyságáról, illetve arról, hogy a különböző évszakok bioklimatikus viszonyait tekintve mennyire kívánatos ez az árnyékolóhatás.

4. Tanulságok, további tervek

4.1 A mérési koncepció megváltoztatása

A 3.1 alfejezetben vázolt, a felhősödésből és a mérőpontok közötti távolságból adódó probléma több fafaj esetében többször eredményezte a transzmisszivitás értékek megugrását a G_{transz}/G_{akt} hányados nevezőjének csökkenése, s nem a számláló emelkedése által. Sőt olyan szituációk is előfordultak néha, hogy a fák alatt magasabb globálsugárzás értéket mértünk, mint a tetőn. Az ilyen esetekre az ad magyarázatot, hogy míg az egyetemi épület tetejére telepített műszerre árnyékot vetett egy adott felhő (és így az ott mérhető G_{akt} lecsökkent), addig a tőle távolabb lévő mérési tereket zavartalanul érte a direkt sugárzás. Sőt a

felhők oldaláról nagymértékben szóródó rövidhullámú sugárzási komponensek jelentősen megnövelhetik a más pontokon mért globálsugárzás aktuális értékét (annak szórt komponensét), melyek így a haranggörcsbeszerű lefutáshoz képest magasabbra szökő értékeket is tartalmazhatnak [Unger and Sümeghy, 2002]. A transzmisszivitás értékek ilyen látszólagos megugrásának problémáját a 2015-ös mérések során a mérési koncepció újragondolásával orvosoljuk.

A tavasztól őszig tervezett újabb méréssorozatban lemondunk az egyetem tetejére telepített piranométer által szolgáltatott 10 perces felbontású globálsugárzás adatokról mint referenciaértékekről. Ehelyett a vizsgált területeken, a fák közelében mérjük majd a *Gakt* értékeket is. Az egyik mobil városklíma-állomást továbbra is a fák lombkoronája alá helyezzük (*Gtransz*) a másik mobil állomást pedig ugyanazon területnek egy nyitott, nagy égboltláthatósági indexszel (SVF – sky view factor) jellemezhető pontjára, melyet a mérési időszak során nem árnyékol be semmilyen tereptárgy (7. ábra).



7. ábra: A 2015-ös év során bevezetett új mérési elrendezés a Mátyás téren található japánakác, illetve kislevelű hársfa esetén

Az új mérési módszernek köszönhetően megoldódik a korábbi, „látszólagos transzmisszivitás növekedés” problémája, ráadásul a percenkénti adatrögzítésnek köszönhetően jóval több mérési adathoz jutunk. További előnyként jelentkezik, hogy a két mobil állomás minden jelentős, az emberi test hőháztartását befolyásoló paramétert rögzít, így lehetőségünk lesz a vizsgált fafajok mikrobioklimatikus módosító hatásának részletes, kvantitatív jellemzésére. Például a léghőmérséklet és a légnedvesség alakulásának összehasonlító elemzését elvégezve az árnyékos és a napos mérőpontok között kimutathatjuk az egyes fafajok lombkoronájának árnyékhát, illetve az evapotranspiráció általi mikroklima-módosító potenciálját. A nettó radiométerek segítségével a napos és a fa alatti pontokon is mérhetjük a rövid- és hosszúhullámú tartományba eső sugárzási tényezőket, s ezáltal kimutathatjuk a fa lombkoronájának hatását a sugárzási mérleg vertikális összetevőire. A nettó radiométerek forgathatósága azt is lehetővé teszi, hogy a tér hat irányából (alsó és felső hemiszféra, valamint a négy égtáj

felől is) mérjük az említett sugárzási komponenseket, s meghatározzuk az emberi szervezetet érő hőterhelést jellemző bioklimatológiai mérőszámokat (az *1.2 alfejezetben* bevezetett *T_{mrt}* és *PET* indexeket). Összességében tehát az új mérési elrendezés sokkal részletesebb, többértékű analízist tesz lehetővé, mint a pusztán transzmisszivitás számítás.

2015 során egyrészt folytatjuk a négy fafaj korábban kiválasztott egészséges egyedei alatti vizsgálatokat, másrészt megkezdjük az ugyanahhoz a fajhoz tartozó, különböző egészségi állapotú egyedek vizsgálatát. Erre az előző év terepi tapasztalatai kínáltak lehetőséget: 2014 során ugyanis megbizonyosodhattunk róla, hogy a Kodály téri vadgesztenye egészséges maradt, míg a Rákóczi téren álló példány lombozata súlyosan degradálódott a vegetációs periódus során az aknázómoly kártétele következtében. Ennek a két fának a szisztematikus monitorozása által kimutathatjuk a vadgesztenye – mint hazánkban kedvelt parkfa és utcai sorfa – egészségi állapotának a hatását az általa nyújtott mikroklima-javító ökoszisztéma-szolgáltatásra. Ezzel a kutatási irányvonallal szeretnénk felhívni a figyelmet a városi fás vegetáció (bio)klímátudatos tervezésének és ápolásának karbantartásának a szükségességére.

4.2 Modellszimulációk és ökoszisztémaszolgáltatás-térképezés

Az egyes faegyedekre vonatkozó mérések és számítások mellett szintén indokolt annak vizsgálata, hogy az utcai fasorok vagy nagyobb facsoportok klimatikus hatása hogyan érvényesül mikro-, illetve lokális léptékben, továbbá, hogy a nagyobb területeket érintő városfejlesztési beavatkozások tervezésekor mely városrészeket és milyen fajok telepítésével érdemes előnyben részesíteni. Ennek érdekében hosszabb távú kutatásai céljaink között szerepel:

- a különböző közterület-kialakítási alternatívák (különböző fafajokkal különböző elrendezésben beültetett fiktív modellterületek) hőstresszmérséklő hatásának összevetése,
- valamint egy hazai nagyváros (Szeged) faállományának bioklima-javító hatásának feltérképezése.

A hazai települési zöldfelület-menedzsment egyik aktuális kérdése a legmegfelelőbb zöldfelület-értékelési módszerek kidolgozása, illetve a meglévők aktualizálása a klímátudatos várostervezés igényeinek megfelelően. Ehhez nagyban hozzájárulhatnak – az árnyékhatásra vonatkozóan – a kutatásaink egyedszintű eredményei. Az Európai Unió 2014–2020-ig szóló Biodiverzitás Stratégiája előírja a tagállamok számára a Zöld Infrastruktúra alapú területi tervezés bevezetését, valamint célul tűzi ki az ökoszisztéma-szolgáltatások értékelését és térképezését tagállami szinten. A városi fafajok lokális léptékű sugárzás- és bioklima-módosító hatására vonatkozó térképezési módszertan kidolgozásával és első alkalmazásával ezekhez a szakpolitikai célokhoz kívánunk hozzájárulni.

Irodalomjegyzék

- Chiesura, A. (2004): The role of urban parks for the sustainable city. *Lands Urban Plan* 68, 129–138.
- Erell, E. – Pearlmutter, D. – Williamson, T. (2011): *Urban microclimate: Designing the spaces between buildings*. Earthscan, London, 266 p.
- Égerházi, L.A. – Kántor, N. – Gál, T. (2013): Evaluation and modelling the micro-bioclimatological conditions of a popular playground in Szeged, Hungary. *Int Review of Applied Sciences and Engineering* 4, 57–61.
- Égerházi, L.A. – Kovács, A. – Takács, Á. – Égerházi, L. (2014): Comparison of the results of two micrometeorological models and measurements. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 47–48, 33–42.
- Golicnik, B. – Thompson, C.W. (2010): Emerging relationships between design and use of urban park spaces. *Lands Urban Plan* 94, 38–53.
- Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature – an universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 71–75.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. – Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. – Meyer, L.A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- Johnston, M. – Percival, G. (2012): *Trees, people and the built environment*. Forestry Commission Research Report. Forestry Commission, Edinburgh, 268 p.
- Kántor, N. – Unger, J. (2011): The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature. *Cent Eur J Geosci* 3, 90–100.
- Kántor, N. – Tsai, K.T. – Égerházi, L. – Lin, T.P. (2014): Outdoor thermal comfort requirements of Taiwanese and Hungarians in the warm months. 20th International Congress of Biometeorology; Cleveland, Ohio, USA; 28 September – 1 October 2014.
- Mayer, H. (1993): Urban bioclimatology. *Experientia* 49, 957–963.
- Mayer, H. (2008): KLIMES – a joint research project on human thermal comfort in cities. *Ber Meteor Inst Albert-Ludwigs-Univ Freiburg* 17, 101–117.
- Mayer, H. – Holst, J. – Dostal, P. – Imbery, F. – Schindler, D. (2008): Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorol Z* 17, 241–250.
- Oke, T.R. (1987): *Boundary layer climates*. Routledge, London New York, 435 p.
- Oke, T.R. (1989): The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences* 324, 335–349.

- Shashua-Bar, L. – Pearlmutter, D. – Erell, E. (2011): The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *Int J Climatol* 31, 1498–1506.
- Takács, Á. (2013): Mikro-bioklimatológiai vizsgálatok egy szegedi sétálóutca példáján. Diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem.
- UNFPA (2011): The State of World Population 2011. Report of the United Nations Population Fund. UNFPA, New York, USA, 132 p.
- Unger, J. – Sümeghy, Z. (2002): Környezeti klimatológia. JATEPress, Szeged, 202 p.
- VAHAVA (2010): Climate change and Hungary: Mitigating the hazard and preparing for the impacts (The „VAHAVA” report). Budapest,
<http://klima.kvvm.hu/documents/14/VAHAVAosszefoglalas.pdf>
- VDI (1998): Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I: Climate. VDI 3787, Part 2. Beuth, Berlin, 29 p.
- WHO (2004): Heat-waves: risks and responses. Series, No 2, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 124 p.

Lektorálta: Dr. Tanács Eszter, *SZTE*, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, egyetemi adjunktus